



# Mesure de la Largeur Spectrale d'un Laser Cohérent par Injection Optique

Stéphane Blin, Olivier Vaudel, Pascal Besnard, T. T. Tam, Sophie La Rochelle

## ► To cite this version:

Stéphane Blin, Olivier Vaudel, Pascal Besnard, T. T. Tam, Sophie La Rochelle. Mesure de la Largeur Spectrale d'un Laser Cohérent par Injection Optique. 23èmes Journées Nationales d'Optique Guidée (JNOG 2004), 25-27 octobre 2004, Oct 2004, Paris, France. pp.121-123. hal-00163130

**HAL Id: hal-00163130**

**<https://hal.science/hal-00163130>**

Submitted on 16 Jul 2007

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# MESURE DE LA LARGEUR SPECTRALE D'UN LASER COHÉRENT PAR INJECTION OPTIQUE

S. Blin<sup>1</sup>, O. Vaudel<sup>1</sup>, P. Besnard<sup>1</sup>, T.T. Tam<sup>2</sup> et S. LaRochelle<sup>3</sup>.

<sup>1</sup> Laboratoire d'Optronique de l'ENSSAT, GIS FOTON, CNRS UMR 6082,  
6 rue Kerampont, BP 447, 22305 Lannion Cedex (FRANCE).

<sup>2</sup> Faculty of Technology, Vietnam National University of Hanoi, Cau Giay, Hanoi (VIETNAM).

<sup>3</sup> COPL, Université Laval, Sainte-Foy, G1K 7P4, Québec (CANADA).

pascal.besnard@enssat.fr

## RÉSUMÉ

Nous proposons une nouvelle méthode de mesure de faibles largeurs spectrales pour des lasers métrologiques. La mesure comparative repose sur une injection optique. Nous présentons la mesure expérimentale en bande C d'un laser de pleine largeur spectrale à mi-hauteur 50 kHz, en comparaison à une référence de largeur 125 kHz. Un modèle théorique reposant sur la fonction d'Airy généralisée est aussi présenté, tenant compte des outils d'analyse expérimentaux utilisés.

**MOTS-CLEFS :** *injection optique, cohérence, lasers, métrologie.*

## 1. INTRODUCTION

Des domaines tels que la métrologie ou la spectroscopie utilisent des sources lasers très cohérentes dont les pleines largeurs spectrales à mi-hauteur (FWHM pour Full Width at Half Maximum) peuvent être inférieures au kHz. Deux méthodes existent pour mesurer de telles largeurs spectrales, à savoir une mesure auto-hétérodyne [1] et une mesure déduite de la densité spectrale de bruit de phase du laser. Puisque ces mesures ne sont pas toujours très précises, nous proposons une méthode alternative qui repose sur une expérience d'injection optique.

## 2. RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX

L'injection optique consiste en l'injection du signal d'un premier laser dit *maître*, dans un second laser dénommé *esclave*. Le laser esclave est un laser à contre-réaction répartie InGaAsP massif à double hétérojonction et ruban enterré, polarisé au dessus du seuil. La figure 1 présente le montage expérimental de l'injection optique : le signal laser maître amplifié est injecté par la face avant de la puce esclave, via une lentille située à une trentaine de centimètres de l'esclave afin de limiter les contre-réactions optiques. La puissance injectée est contrôlée par l'atténuateur variable et le puissance-mètre. Le signal de l'esclave injecté est étudié dans le domaine spectral à l'aide d'un analyseur de spectre optique Fabry-Perot de résolution 2,3 MHz.

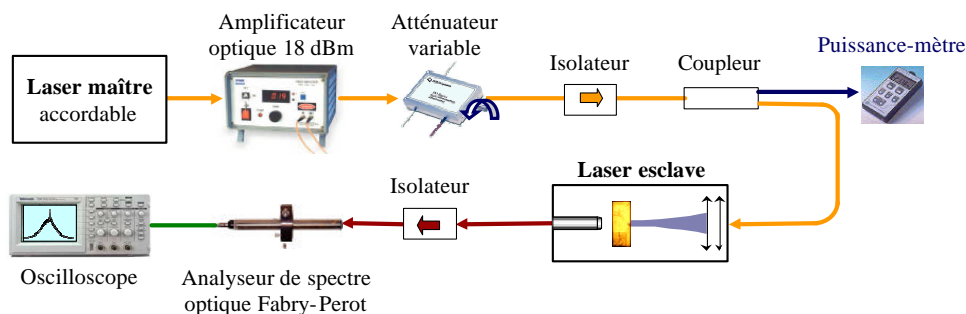


FIG. 1 – Montage expérimental de l'injection optique.

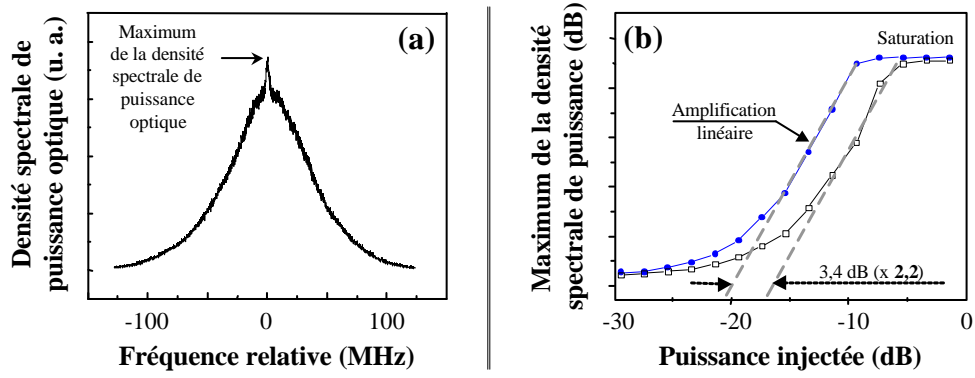


FIG. 2 – Faible injection cohérente. (a) Spectre optique du laser esclave injecté. (b) Influence de la cohérence maître sur le maximum de la composante maître du spectre esclave injecté. Les points correspondent à un laser maître de largeur spectrale (FWHM) 50 kHz, les carrés à un laser de largeur spectrale (FWHM) 125 kHz. Le rapport des cohérences est donc de 2,5.

Nous avons déjà montré [2] [3] que le laser esclave faiblement injecté (puissance injectée inférieure au  $\mu\text{W}$ ) agit comme un amplificateur pour le signal injecté, ce qui reste la seule démonstration expérimentale de l'utilisation d'un laser polarisé au dessus du seuil comme amplificateur. Les études similaires effectuées utilisent un laser polarisé sous le seuil, ou encore un MOPA (Master Oscillator Power Amplifier) polarisé au-dessus du seuil.

La figure 2 (a) présente un spectre optique du laser esclave injecté : le piédestal correspond au spectre de l'esclave libre, le pic étroit qui le surmonte est le maître amplifié (les lasers maître et esclave sont à la même fréquence). Le laser esclave faiblement injecté acquiert progressivement [2] les caractéristiques spectrales du laser maître (fréquence et largeur spectrale) lorsque la puissance injectée augmente : la puissance esclave (constante puisque la puissance injectée est environ 1000 fois moindre) se répartit progressivement dans la bande spectrale maître, impliquant l'augmentation du maximum du spectre esclave injecté jusqu'à ce que toute la puissance esclave soit concentrée dans la bande spectrale maître comme le montre la figure 2 (b). Nous y observons un régime d'amplification linéaire, puis un régime de saturation (accrochage total). Nous remarquons aussi que l'injection est plus efficace pour un laser maître plus cohérent : les deux courbes sont décalées, en terme de puissance injectée, de 3,4 dB (2,2 en linéaire), ce qui est en accord avec le rapport de cohérence (2,5) entre les sources maîtres essayées. Nous pouvons donc déterminer la largeur spectrale d'un laser en comparaison à une source maître de largeur connue.

### 3. MODÈLE THÉORIQUE

Nous utilisons un modèle théorique précédemment développé [4] pour l'étude de l'injection optique d'un laser Fabry-Perot à semi-conducteurs. L'intérêt de travailler avec une structure Fabry-Perot est de mener des calculs semi-analytiques, une cavité à contre-réaction distribuée peut aussi se modéliser par cette méthode. Le modèle repose sur la généralisation de la fonction de transfert d'une cavité Fabry-Perot. Dans son expression la plus simple, la fonction d'Airy généralisée d'un laser monomode amène à une densité spectrale de puissance du laser esclave libre  $y_E$  de forme lorentzienne :

$$y_E(x) = \frac{S_E}{A_E^2 \cdot e^{-L_E + G_E}} \cdot \frac{1}{\Gamma_E^2 + x^2},$$

où  $x$  est la fréquence normalisée (en bande de base),  $L_E$  les pertes cumulées sur un aller-retour dans la cavité Fabry-Perot,  $G_E$  le gain saturé sur un aller-retour,  $\Gamma_E$  la pleine largeur spectrale à mi-hauteur,  $A_E$  un paramètre caractéristique du milieu amplificateur, et  $S_E$  le terme source du laser, à savoir l'émission spontanée. Nous ne considérons pas ici de dépendance spectrale du gain ou de l'émission spontanée, et travaillons à des fréquences proches de la fréquence de résonance du laser esclave libre.

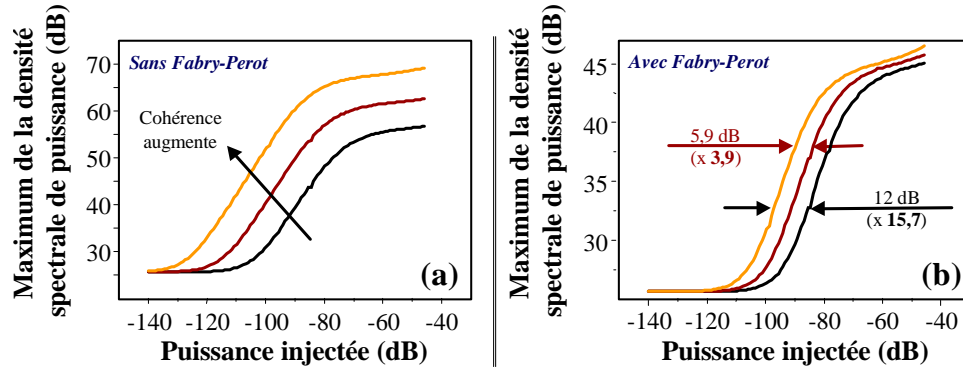


FIG. 3 – Influence théorique de la cohérence maître sur le maximum du spectre esclave injecté, sans (a) ou avec (b) l'effet de filtrage de l'analyseur Fabry-Perot. La courbe de gauche correspond à une largeur spectrale (FWHM) normalisée de 1, celle du milieu à 4, celle de droite à 14.

Pour le laser injecté, il faut ajouter un autre terme source au numérateur, à savoir la densité spectrale maître injectée, de même structure que celle de l'esclave libre mais de moindre amplitude et de plus faible largeur spectrale. La figure 3 (a) montre l'évolution des maxima du spectre optique du laser esclave injecté avec la puissance injectée, pour différentes cohérences du laser maître. L'allure de ces courbes diffère de celle des courbes expérimentales de la figure 2 (b) par des niveaux de saturation différents. Cette différence provient de l'analyseur Fabry-Perot utilisé expérimentalement, ce que nous pouvons vérifier théoriquement en incluant son effet de filtrage tel que présenté sur la figure 3 (b). Nous vérifions sur cette figure que le décalage entre les différentes courbes (3,9 et 15,7) est en bon accord avec les rapports des cohérences des différents lasers maîtres utilisés (4 et 14).

#### 4. CONCLUSION

Nous avons présenté une méthode originale pour la mesure de largeurs spectrales, dont la faisabilité a été démontrée expérimentalement et théoriquement, et qui repose sur la loi suivante : plus le laser maître est cohérent, plus l'injection optique est efficace. Les performances de détection de très faibles puissances optiques par injection optique [5] nous laissent penser pouvoir mesurer des largeurs spectrales aussi fines que le Hz avec une référence de 100 kHz.

*Merci à Isabelle Castonguay et Guillaume Brochu du COPL pour la fabrication des lasers à fibre.*

#### RÉFÉRENCES

- [1] T. Okoshi, K. Kikuchi and A. Nakayama, "Novel method for high resolution measurement of laser output spectrum," *Electron. Lett.* **16** (16), pp. 630-631 (1980).
- [2] S. Blin, G.M. Stéphan, R. Gabet and P. Besnard, "Amplification process in a laser injected by a narrow-band weak signal," *Europhys. Lett.* **2** (1), pp. 60-65 (2000).
- [3] S. Blin, C. Guignard, P. Besnard, R. Gabet, G.M. Stéphan and M. Bondiou, "Phase and spectral properties of optically injected semiconductor lasers," *C. R. Physique* **4** (6), pp. 687-699 (2003).
- [4] G.M. Stéphan, "Spectral properties of an injected laser," *Phys. Rev. A* **58** (3), pp. 2467-2471 (1998).
- [5] R. Gabet, G.M. Stéphan, M. Bondiou, P. Besnard and D. Kilper, "Ultrahigh sensitivity detector for coherent light : the laser," *Opt. Comm.* **185** (1-3), pp. 109-114 (2000).